

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Asap Cair

Asap cair adalah cairan kondensat dari asap yang telah mengalami penyimpanan dan penyaringan untuk memisahkan tar dan bahan-bahan partikulat. Salah satu cara untuk membuat asap cair adalah dengan mengkondensasikan asap hasil pembakaran tidak sempurna dari kayu. Selama pembakaran, komponen utama kayu yang berupa selulosa, hemiselulosa, dan lignin akan mengalami pirolisis. Selama proses pirolisis akan terbentuk berbagai macam senyawa. Senyawasenyawa yang terdapat di dalam asap dikelompokkan menjadi beberapa golongan yaitu, fenol, karbonil (terutama keton dan aldehid), asam furan, alkohol dan ester, lakton, hidrokarbon alifatik, dan hidrokarbon poliiklis aromatis. Asap memiliki kemampuan untuk mengawetkan bahan makanan karena adanya senyawa asam, fenolat dan karbonil (Pranata, 2008).

Asap cair merupakan suatu hasil kondensasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan-bahan yang banyak mengandung lignin, selulosa, hemiselulosa serta senyawa karbon lainnya. Pengertian umum liquid smoke (asap cair) merupakan suatu hasil destilasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran tidak langsung maupun langsung dari bahan yang banyak mengandung karbon dan senyawa-senyawa lain. Bahan baku yang banyak digunakan untuk membuat *asap cair* adalah kayu, bongkol kelapa

sawit, ampas hasil penggergajian kayu, dan lain-lain. Asap cair bisa juga berarti hasil pendinginan dan pencairan asap dari tempurung kelapa yang dibakar dalam tabung tertutup. Asap yang semula berbentuk partikel - partikel padat akan didinginkan terlebih dahulu hingga kemudian menjadi suatu partikel cair itu disebut dengan nama asap cair.

Menurut Wikipedia bahasa Inggris, asap cair terdiri atas pembakaran terkontrol dari potongan-potongan kayu atau serbuk gergaji sehingga menghasilkan asap yang mengembun menjadi cairan dan memerangkap asap yang belum mencair di dalam larutan atau cairan tersebut. Bentuk atau zat ini dapat terbentuk melalui banyak metode untuk menghasilkan asap cair dalam cakupan yang luas. Dari ketiga pengertian di atas dapat disimpulkan bahwa *asap cair* adalah hasil destilasi atau pengembunan dari uap hasil pembakaran langsung ataupun tidak langsung dari bahan-bahan yang mengandung karbon.

Bahan baku yang banyak digunakan untuk pembuatan asap cair adalah berbagai jenis kayu, bongkol kelapa sawit, tempurung kelapa, sekam, ampas atau serbuk gergaji kayu dan lain sebagainya (Darmadji, P, 2002). Menurut BPS (2009), Indonesia memiliki sawah seluas 12,84 juta hektar yang menghasilkan padi sekitar 63,84 juta ton. Kadar sekam padi terhadap berat padi keseluruhan sekitar 15 - 20 % (Widowati, 2001). Ini berarti limbah sekam padi yang dihasilkan bangsa Indonesia sekitar 8,2 – 10,9 ton/tahun. Potensi limbah yang besar ini hanya sedikit yang baru dimanfaatkan secara optimal. Kebanyakan sekam padi baru dimanfaatkan sebagai bahan bakar langsung.

Sekarang ini banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan manfaat sekam padi, diantaranya pemanfaatan sekam padi sebagai adsorben untuk penyerapan logam-logam berbahaya pada limbah industri (Danarto, *et.al* (2006a dan 2006b), Mahvi,*et.al* (2004), Tang, *et.al.*(2003)) , pemanfaatan sekam padi menjadi liquid smoke yang dipakai sebagai bahan kimia yang dipergunakan untuk pengendalian hama dan penyakit.

Melihat dari apa yang telah diuraikan tadi, jelas bahwa untuk meningkatkan produktivitas padi dapat dilakukan dengan cara pembe (Mikro Organisme lokal) dan pemberian asap cair (liquid smoke).

Tabel 1. Senyawa yang diperkirakan terdapat pada asap cair sekam padi *grade* 1.

No.	Nama Senyawa	Rumus Bangun	% Area	Waktu Retensi
Asam				
1.	Asam Asetat	$C_2H_4O_2$	58,68	2,805
2.	Asam Propanoat	$C_3H_6O_2$	2,90	3,238
3.	Asam 2-metil-propanoat	$C_4H_8O_2$	1,61	3,617
Fenol				
4.	p-Guaiakol	$C_7H_8O_2$	1,29	12,998
Keton				
5.	Aseton	C_3H_6O	2,53	2,111
6.	1-hidroksi-2-propanon	$C_3H_6O_2$	15,89	2,959
7.	1-hidroksi-2-butanon	$C_4H_8O_2$	2,01	3,876
8.	2-butanon	C_4H_8O	0,52	5,606
9.	3,3-dimetil-2-butanon	$C_6H_{12}O$	0,15	8,558
Alkohol				
10.	2-propen-1-ol	C_3H_6O	0,62	2,218
11.	Tetrahidro-2-furanmetanol	$C_5H_{10}O_2$	0,20	4,642
12.	Etilen glikol	$C_2H_6O_2$	7,66	2,011
Ester				
13.	Alil butanoat	$C_7H_{12}O_2$	0,35	4,964
Eter				
14.	Trans-2,3-dimetil-Oksiran	C_4H_8O	0,72	2,322
15.	2,3-dihidro-1,4-Dioksin	$C_4H_6O_2$	0,37	3,517
Aldehid				
16.	3-furaldehid	$C_5H_4O_2$	4,08	4,713
17.	Citronella	$C_{10}H_{18}O$	0,42	15,091

2.2.2 Macam - macam asap cair

1. **Asap cair grade 3** tak dapat digunakan untuk pengawet makanan, karena masih banyak mengandung tar yang karsinogenik. Asap cair grade 3 tidak digunakan untuk pengawet bahan pangan, tapi dipakai pada pengolahan karet penghilang bau dan pengawet kayu biar tahan terhadap rayap. Cara penggunaan *asap cair grade 3* untuk pengawet kayu agar tahan rayap dan karet tidak bau adalah 1 cc **asap cair grade 3** dilarutkan dalam 300 mL air, kemudian disemprotkan atau merendam kayu ke dalam larutan.



Gambar 2.1 : asap cair grade 3

2. **Asap cair grade 2** dipakai untuk pengawet makanan sebagai pengganti formalin dengan taste asap (daging asap, ikan asap/bandeng asap) berwarna kecoklatan transparan, rasa asam sedang, aroma asap lemah. Cara penggunaan *asap cair grade 2* untuk pengawet ikan adalah celupkan ikan yang telah

dibersihkan ke dalam 25 persen asap cair dan tambahkan garam. Biasanya ikan yang diawetkan dengan menggunakan asap cair grade 2 bisa tahan selama tiga hari.



Gambar 2.2 : asap cair grade 2

3. **Asap cair grade 1** digunakan sebagai pengawet makanan siap saji seperti bakso, mie, tahu, bumbu-bumbu barbaque. *Asap cair grade 1* ini berwarna bening, rasa sedikit asam, aroma netral dan merupakan asap cair paling bagus kualitasnya serta tidak mengandung senyawa yang berbahaya untuk diaplikasikan ke produk makanan. Cara menggunakan asap cair grade 1 untuk pengawet makanan siap saji adalah 15 cc asap cair dilarutkan dalam 1 liter air, kemudian campurkan larutan tersebut ke dalam 1 kg adonan bakso, mie atau tahu. Saat perebusan juga digunakan larutan asap cair dengan kadar yang sama dilarutkan dalam adonan makanan. Biasanya bakso yang memakai pengawet asap cair grade 1 bisa tahan penyimpanan selama enam hari. (*asap cair*)



Gambar 2.3 : asap cair grade 1

2.2.2 Manfaat Asap Cair

Manfaat asap cair sebagai pengawet makanan termasuk dalam kelompok zat tambahan makanan yang bersifat inert secara farmakologik (efektif dalam jumlah kecil dan tidak toksis). Pemakaian pengawet sangat luas. Hampir seluruh industri mempergunakannya, termasuk industri farmasi, kosmetik, dan makanan.

Di bidang kesehatan dan farmasi, penggunaan pengawet dibatasi jenis dan jumlahnya. Khusus untuk pengawet makanan, diatur melalui Permenkes RI No. 722/Menkes/Per/IX/88. Namun, banyak pihak tidak bertanggung jawab menggunakan bahan pengawet yang dilarang BPOM untuk makanan seperti formalin, yang biasanya digunakan pada bakso, tahu, ikan dengan alasan biaya murah dan produk kelihatan lebih bagus serta tahan lebih lama. Penggunaan formalin bisa digantikan dengan asap cair, karena harganya yang cukup murah dan alami.

1. Dalam *asap cair* mengandung senyawa fenol yang bersifat sebagai antioksidan, sehingga menghambat kerusakan pangan dengan cara mendonorkan hidrogen.
2. Dalam jumlah sangat kecil, *asap cair* efektif untuk menghambat autooksidasi lemak, sehingga dapat mengurangi kerusakan pangan karena oksidasi lemak oleh oksigen.
3. Kandungan asam pada *asap cair* juga efektif dalam mematikan dan menghambat pertumbuhan mikroba pada produk makanan dengan cara senyawa asam itu menembus dinding sel mikroorganisme yang menyebabkan sel mikroorganisme menjadi lisis kemudian mati. Dengan menurunnya jumlah bakteri dalam produk makanan, kerusakan pangan oleh mikroorganisme dapat dihambat sehingga meningkatkan umur simpan produk pangan.

2.2 Gasifikasi

Gasifikasi adalah suatu proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas, di mana udara yang diperlukan lebih rendah dari udara yang digunakan untuk proses pembakaran

Selama proses gasifikasi reaksi kimia utama yang terjadi adalah endotermis (memerlukan panas dari luar selama proses berlangsung). Media yang paling umum digunakan pada proses gasifikasi ialah udara dan uap. Produk yang dihasilkan dapat dikategorikan menjadi tiga bagian utama, yaitu padatan, cair (termasuk gas yang dapat dikondensasikan), dan gas permanen. Gas yang

dihasilkan dari gasifikasi dengan menggunakan udara mempunyai nilai kalor yang lebih rendah tetapi di sisi lain proses operasi menjadi lebih sederhana.

Beberapa keunggulan dari teknologi gasifikasi yaitu:

1. Mampu menghasilkan produk gas yang konsisten yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik
2. Mampu memproses beragam input bahan bakar termasuk batu bara, minyak mentah berat (*heavy crude oil*), biomassa, berbagai macam sampah kota (*municipal waste*), dan lain sebagainya
3. Mampu mengubah sampah yang bernilai rendah menjadi produk yang bernilai lebih tinggi
4. Mampu mengurangi jumlah sampah padat
5. Gas yang dihasilkan tidak mengandung furan dan dioksin yang berbahaya

2.2.2 Syarat proses gasifikasi

Adapun beberapa proses gasifikasi, yaitu:

1. Tahapan pemanasan di mana temperatur padatan naik sampai sebelum terjadi proses pengeringan.
2. Tahap pengeringan di mana terjadi pelepasan uap air dari padatan.
3. Tahap pemanasan lanjut di mana temperatur padatan naik kembali sampai sebelum terjadi proses devolatilisasi.
4. Tahap devolatilisasi di mana volatil dalam padatan keluar sampai tersisa arang. Tergantung dari bahan bakar yang digunakan volatil dapat

terdiri dari gas-gas H_2O , H_2N_2 , O_2 , CO , CO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 , C_2H_6 dan hidrokarbon tidak jenuh.

5. Tahap pembakaran arang (terjadi jika masih terdapat udara yang tersisa)

2.3 Sekam

Sekam adalah bagian dari bulir padi-padian (serealia) berupa lembaran yang kering, bersisik, dan tidak dapat dimakan, yang melindungi bagian dalam (endospermium dan embrio). Sekam dapat dijumpai pada hampir semua anggota rumput-rumputan (Poaceae), meskipun pada beberapa jenis budidaya ditemukan pula variasi bulir tanpa sekam (misalnya jagung dan gandum). .

Dalam pertanian, sekam dapat dipakai sebagai campuran pakan, alas kandang, dicampur di tanah sebagai pupuk, dibakar, atau arangnya dijadikan media tanam.

Secara anatomi, sekam terbentuk dari bagian perhiasan bunga padi-padian (spikelet) yang disebut *gluma*, *palea*, dan *lemma*. Pada tongkol jagung konsumsi, ketiga bagian ini tereduksi sehingga tampak seperti sisik pada permukaan tongkol. Pada padi, gluma mirip seperti dua duri kecil di bagian pangkal. Palea adalah bagian penutup yang kecil, sedangkan lemma adalah bagian penutup yang besar dan pada varietas tertentu memiliki "bulu" (*awn*). Pada bunga gandum, ketiga bagian ini berkembang baik.

Sekam diperlukan untuk keperluan penanaman ulang tanaman ini. Bulir tanpa sekam (disebut beras untuk padi) tidak dapat digunakan sebagai bahan tanam, kecuali pada kultivar tanpa sekam.



Gambar 2.4 : sekam

Spikelet (bunga padi-padian) sejenis gandum yang disebut *einkorn*.

Bulir dari berbagai tanaman pangan yang didomestikasi memiliki sekam yang mudah lepas. Tipe-tipe primitif padi, gandum, serta beberapa biji-bijian lainnya bijinya cenderung tertutup rapat oleh sekam. Kultivar-kultivar modern gandum dan padi memiliki sekam yang mudah lepas atau mudah dipecah ketika digiling.

Proses pemisahan sekam dari isinya dulu dilakukan dengan penumbukan gabah memakai alat tumbuk (biasanya berupa alu dengan pemukulnya). Pada masa kini orang memakai mesin giling dan prosesnya disebut penggilingan. Penggilingan atau penumbukan akan menghasilkan beras yang masih tercampur dengan sisa-sisa sekam atau pengotor lainnya. Tahap pembersihan berikutnya adalah pengayakan secara tradisional dilakukan dengan melemparkannya ke udara sehingga bagian yang lebih berat terpisah dari bagian yang ringan.

Sekam tidak sama dengan bekatul (atau *bran*). Bekatul termasuk bagian dari endospermium dan terbentuk dari lapisan aleuron dan perikarp yang melekat.

Sekam tidak dapat dimakan. Ia digunakan terutama sebagai alas kandang karena sangat higroskopis sehingga menyerap cairan atau kelembaban. Beberapa hewan dapat menoleransi sekam sehingga campuran pakannya mengandung sekam. Selain itu, sekam dapat dibakar di ladang untuk dicampurkan ke tanah. Suatu teknik hidroponik murah telah dikembangkan menggunakan arang sekam sebagai media untuk menahan tanaman.

Ditinjau dari komposisi kimiawinya, sekam mengandung beberapa unsur penting sebagai yang tercantum pada tabel berikut :

Komposisi Kimia Sekam Padi (% berat) Komponen	% Berat
Kadar air	32,40 – 11,35
Protein kasar	1,70 – 7,26
Lemak	0,38 – 2,98
Ekstrak nitrogen bebas	24,70 – 38,79
Serat	31,37 – 49,92
Abu	13,16 – 29,04
Pentosa	16,94 – 21,95
Sellulosa	34,34 – 43,80
Lignin	21,40 – 46,97

Sedangkan kandungan kimia dari abu hasil pembakaran sekam padi adalah seperti yang tercantum pada tabel berikut:

Komposisi Abu Sekam Padi Komponen	% Berat
SiO ₂	86,90 – 97,30
K ₂ O	0,58 – 2,50
Na ₂ O	0,00 – 1,75
CaO	0,20 – 1,50
MgO	0,12 – 1,96
Fe ₂ O ₃	0,00 – 0,54
P ₂ O ₅	0,20 – 2,84
SO ₃	0,10 – 1,13
Cl	0,00 – 0,42

2.4 Pirolisis

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi.

Pirolisis adalah kasus khusus dari thermolysis terkait dengan proses kimia charring, dan yang paling sering digunakan untuk organik bahan.. Hal ini terjadi

secara spontan pada temperatur tinggi (misalnya, di atas 300 ° C untuk kayu, itu berbeda untuk bahan lainnya), misalnya dalam kebakaran atau ketika vegetasi datang ke dalam kontak dengan lava dalam letusan gunung berapi. Secara umum, gas dan cairan menghasilkan produk dan meninggalkan residu padat kaya kandungan karbon. Extreme pirolisis, yang daun karbon sebagai residu, disebut karbonisasi. Hal itu tidak melibatkan reaksi dengan oksigen atau reagen lainnya, tetapi dapat terjadi dalam kehadiran mereka.

Pirolisis yang banyak digunakan dalam industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengubah ethylene dichloride ke vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengubah biomassa menjadi gas sintesis, untuk mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai dengan aman, dan untuk retak menengah-berat hidrokarbon dari minyak untuk memproduksi lebih ringan yang seperti bensin.

Ini adalah proses kimia penting di beberapa memasak prosedur seperti memanggang, menggoreng, memanggang, dan karamel. Pirolisis juga merupakan alat analisis kimia, misalnya dengan pirolisis kromatografi gas spektrometri massa dan di carbon-14 kencana. Memang, banyak zat kimia penting, seperti fosfor dan asam sulfat, pertama kali diperoleh dengan proses ini. Telah diasumsikan berlangsung selama catagenesis, konversi dimakamkan bahan organik untuk bahan bakar fosil.

2.4.1 Macam - macam proses pirolisis

1. Arang

Pirolisis telah digunakan sejak zaman untuk mengubah kayu menjadi arang dalam skala industri. Selain kayu, proses juga dapat menggunakan serbuk gergaji dan produk-produk limbah kayu lainnya.

Arang diperoleh dengan memanaskan kayu sampai lengkap pirolisis (karbonisasi), hanya meninggalkan karbon dan anorganik abu. Di banyak bagian dunia, arang masih diproduksi semi-industri, dengan membakar tumpukan kayu yang telah sebagian besar tertutup lumpur atau batu bata. Panas yang dihasilkan oleh pembakaran bagian dari kayu dan produk sampingan pyrolyzes volatile sisa tumpukan. Terbatasnya pasokan oksigen mencegah dari pembakaran arang juga. Alternatif yang lebih modern adalah dengan memanaskan kayu dalam kapal logam kedap udara, yang jauh lebih sedikit polusi dan memungkinkan produk volatile akan terkondensasi.

Asli struktur vaskular dari kayu dan pori-pori yang diciptakan oleh gas melarikan diri bergabung untuk menghasilkan sebuah cahaya dan materi berpori. Dengan dimulai dengan padat seperti kayu-materi, seperti nutshells atau persik batu, satu memperoleh suatu bentuk arang dengan pori-pori yang sangat bagus (dan dengan demikian pori-pori yang lebih besar luas permukaan), yang disebut karbon aktif, yang digunakan sebagai adsorben untuk berbagai berbagai zat kimia.

2. Biochar

Biochar memperbaiki tekstur tanah dan ekologi, meningkatkan kemampuannya untuk mempertahankan pupuk dan melepaskannya perlahan-lahan. Secara alami mengandung banyak gizi mikro yang diperlukan oleh tanaman, seperti selenium. Hal ini juga lebih aman daripada yang lain “alami” pupuk seperti pupuk kandang atau kotoran karena telah didesinfeksi pada suhu tinggi, dan karena itu melepaskan unsur nutrisi pada tingkat lambat, itu akan sangat mengurangi risiko kontaminasi water table. Biochar juga sedang dipertimbangkan untuk penyerapan karbon, dengan tujuan mitigasi pemanasan global.

3. Coke

Pirolisis digunakan pada skala besar untuk mengubah batubara menjadi kokas untuk metalurgi, terutama pembuatan baja. Coke juga dapat dihasilkan dari padat sisa dari penyulingan minyak bumi.

Mereka biasanya berisi bahan awal hidrogen, nitrogen atau oksigen atom dikombinasikan dengan molekul karbon ke menengah berat molekul tinggi. Pembuatan arang atau “coking” terdiri dalam proses pemanasan bahan dalam pembuluh tertutup suhu yang sangat tinggi (hingga 2.000°C (3630°F)), sehingga molekul-molekul terurai menjadi zat yang mudah menguap lebih ringan, yang meninggalkan kapal, dan keropos tapi sulit residu hal itu sebagian besar karbon dan anorganik abu. Jumlah volatiles bervariasi dengan sumber materi, tetapi biasanya 25-30% dari itu berdasarkan berat.

4. Serat Karbon

Serat karbon adalah filamen karbon yang dapat digunakan untuk membuat benang yang sangat kuat dan tekstil. Serat karbon item sering diproduksi oleh memintal dan menenun item yang diinginkan dari serat yang sesuai polimer, dan kemudian pyrolyzing material pada suhu tinggi (dari 1500 C ke 3000 C).

Serat karbon pertama terbuat dari rayon, tapi polyacrylonitrile telah menjadi bahan awal yang paling umum.

Untuk pertama serat karbon dapat dibuat lampu listrik, Joseph Wilson Swan dan Thomas Edison menggunakan filamen karbon yang dibuat oleh pirolisis kapas benang dan serpihan kayu.

5. Biofuel

Pirolisis adalah dasar dari beberapa metode yang sedang dikembangkan untuk memproduksi bahan bakar dari biomassa, yang mungkin termasuk tanaman tumbuh baik untuk tujuan atau biologis produk limbah dari industri lain.

Meskipun sintetis bahan bakar diesel belum dapat diproduksi langsung oleh pirolisis bahan organik, ada cara untuk menghasilkan cairan yang serupa ("bio-oil") yang dapat digunakan sebagai bahan bakar, setelah penghapusan berharga bio-bahan kimia yang dapat digunakan sebagai makanan tambahan atau obat-obatan. Efisiensi yang lebih tinggi dapat dicapai dengan apa yang disebut pirolisis flash halus yang terpisah di mana

bahan baku adalah dengan cepat dipanaskan hingga antara 350 dan 500 C selama kurang dari 2 detik.

Minyak bahan bakar yang menyerupai minyak mentah juga dapat diproduksi oleh hydrous pirolisis dari berbagai jenis bahan baku, termasuk limbah dari babi dan kalkun pertanian, oleh suatu proses yang disebut depolymerization termal (yang mungkin mencakup namun reaksi lain selain pirolisis)

2.5 Pengertian Distilasi

Distilasi adalah proses yang memisahkan komponen dari campuran cairan dengan titik didih yang berbeda. Uap dan fase cair mengalir melawan dalam zona perpindahan massa dari kolom massa atau pengepakan digunakan untuk memaksimalkan kontak permukaan antara fase (Humphrey & Keller II, 1997 hal 11)

Distilasi adalah teknik untuk memisahkan larutan ke dalam masing – masing komponennya. Prinsip distilasi adalah didasarkan atas perbedaan titik didih komponen zatnya. Distilasi dapat digunakan untuk memurnikan senyawa-senyawa yang mempunyai titik didih berbeda sehingga dapat dihasilkan senyawa yang memiliki kemurnian yang tinggi.

Distilasi adalah suatu metode pemisahan bahan kimia berdasarkan perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan atau didefinisikan juga teknik pemisahan kimia yang berdasarkan perbedaan titik didih. Dalam penyulingan, campuran zat dididihkan sehingga menguap, dan uap ini

kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu.

Prinsip kerja alat distilator itu sendiri adalah :

1. Proses pemanasan cairan fermentasi atau glukosa hasil fermentasi pada tabung pemanas dengan titik didih 78°C untuk menghasilkan uap, kemudian uap etanol yang terbentuk dialirkan melalui pipa.
2. Proses pendinginan merupakan salah satu perlengkapan penyulingan, yang mana fungsinya untuk mengubah seluruh uap etanol menjadi fase cair.

Macam - macam destilasi

1. Destilasi sederhana

Adalah pemisahan dua atau lebih komponen cairan yang memiliki perbedaan titik didih yang jauh berbeda. Jika campuran dipanaskan maka komponen yang titik didihnya lebih rendah akan menguap lebih dulu. Selain perbedaan titik didih, juga perbedaan kevolaitan, yaitu kecenderungan sebuah substansi untuk menjadi gas. Destilasi ini dilakukan pada tekanan atmosfer.

2. Distilasi Fraksionasi (Bertingkat)

Sama prinsipnya dengan destilasi sederhana, hanya destilasi bertingkat ini memiliki rangkaian alat kondensor yang lebih baik, sehingga mampu memisahkan dua komponen yang memiliki perbedaan titik didih yang berdekatan. Untuk memisahkan dua jenis cairan yang sama-sama mudah menguap dapat dilakukan dengan destilasi bertingkat. Destilasi bertingkat sebenarnya adalah suatu proses

destilasi berulang. Proses berulang ini terjadi pada kolom fraksional. Kolom fraksional terdiri atas beberapa plat dimana pada setiap plat terjadi pengembunan. Uap yang naik plat yang lebih tinggi lebih banyak mengandung cairan yang lebih atsiri (mudah menguap) sedangkan cairan yang kurang atsiri lebih banyak dalam kondensat. Contoh destilasi bertingkat adalah pemisahan campuran alkohol-air), titik didih alkohol adalah 78°C dan titik didih air adalah 100°C . Campuran tersebut dicampurkan dalam labu didih. Pada suhu sekitar 78°C alkohol mulai mendidih tetapi sebagian air juga ikut menguap. Oleh karena alkohol lebih mudah menguap, kadar alkohol dalam uap lebih tinggi daripada kadar alkohol dalam campuran semula. Ketika mencapai kolom fraksionasi, uap mengembun dan memanaskan kolom tersebut. Setelah suhu kolom mencapai 78°C , alkohol tak lagi mengembun sehingga uap yang mengandung lebih banyak alkohol naik ke kolom di atasnya, sedangkan sebagian air turun ke dalam labu didih. Proses seperti itu berulang beberapa kali (bergantung , pada banyaknya plat dalam kolom), sehingga akhirnya diperoleh alkohol yang lebih murni. Contoh lain dari Destilasi bertingkat adalah pemurnian minyak bumi, yaitu memisahkan gas, bensin, minyak tanah, dan sebagainya dari minyak mentah.

3. Distilasi Azeotrop

Memisahkan campuran azeotrop (campuran dua atau lebih komponen Yang sulit di pisahkan), biasanya dalam prosesnya digunakan senyawa lain yang dapat memecah ikatan azeotrop tsb, atau dengan menggunakan tekanan tinggi.

4. Distilasi Kering

Memanaskan material padat untuk mendapatkan fasa uap dan cairnya. Biasanya digunakan untuk mengambil cairan bahan bakar dan kayu atau batu bata.

5. Distilasi vakum

memisahkan dua komponen yang titik didihnya sangat tinggi, metode yang digunakan adalah dengan menurunkan tekanan permukaan lebih rendah dari 1 atm, sehingga titik didihnya juga menjadi rendah, dalam prosesnya suhu Yang digunakan untuk mendistilasi yang tidak perlu terlalu tinggi. (<http://ndarucs.blogspot.com/2010/02/distilasi.html>)

2.6 Prinsip Kerja Destilator

Destilator memanaskan campuran cairan, hingga komponen yang titik didihnya lebih rendah akan menguap lebih dulu. Uap yang terbentuk kemudian mengalir melalui pipa saluran menuju kondensor (pendingin) yang berisi air mengalir dengan aliran yang berlawanan dengan arah uap. Akibatnya uap yang mengalami kontak dengan air akan mengembun sehingga terbentuklah cairan yang diinginkan.

Beberapa komponen yang digunakan pada, Destilator.

- Tabung pemanas untuk tempat memanaskan bahan basil fermentasi.
- Pips, saluran uap untuk mengalirkan uap.
- Kondensor : mendinginkan uap panas dari kolom distilasi sehingga, berubah bentuk menjadi cair kembali.
- Tabung penampung alkohol : untuk menampung etanol dari basil proses

distilasi.

- Meja kondensor : untuk menahan beban kondensor.
- Thermostat : untuk mengatur tekanan temperatur dalam tabung.

2.7 Perpindahan Panas

Kalor adalah suatu bentuk energi yang diterima oleh suatu benda yang menyebabkan benda tersebut berubah suhu atau wujud bentuknya. Kalor berbeda, dengan suhu, karna suhu adalah ukuran dalam satuan derajat panas. Kalor merupakan suatu kuantitas atau jumlah panas baik yang diserap maupun dilepaskan oleh suatu benda. Kalor merupakan salah satu bentuk energi yang dapat berpindah dan suhu tinggi ke suhu rendah. Perubahan suhu suatu zat dan perubahan wujud zat dan suatu bentuk ke bentuk lain adalah fenomena yang berkaitan dengan kalor. (Tamrin dkk, 2003 hal 79)

Perpindahan kalor adalah perancangan alat penukar kalor yang digunakan untuk memindahkan kalor dari satu tempat ke tempat lain. Makin kecil dan makin kompak penukar kalor itu, makin baik rancangannya. Suatu alat baru yang memungkinkan perpindahan sejumlah besar kalor yang melalui luas permukaan yang sangat kecil ialah pipa, kalor. (J.P. Holman, 1994 hal 571-572)

Proses perpindahan panas dibedakan menjadi 3 macam yaitu :

1. Konduksi (hantaran)
2. Konveksi (aliran)
3. Radiasi (pancaran)

a) Perpindahan Panas Secara Konduksi

Konduksi adalah perpindahan panas melalui benda padat. Benda yang

dapat menghantarkan panas dengan baik disebut konduktor. Pada umumnya, konduktor terbuat dari logam. Benda yang sukar menghantarkan panas disebut isolator, pada peristiwa konduksi, panas mengalir melalui molekul-molekul zat tanpa memindahkan atau menggerakkan molekul zat itu. Benda padat memiliki kemampuan merambatkan panas secara konduksi yang berbeda - beda.

Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu (temperatur gradien), maka, menurut pengalaman akan terjadi perpindahan energi dari bagian suhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. (J.P. Holman, 1994 hal 2)

Konduksi dalam distilasi misalnya didalam dinding tabung tersebut, panas akan dirambatkan oleh molekul-molekul (dinding tabung sebelah luar yang berbatasan dengan api, menuju ke molekul-molekul dinding tabung sebelah dalam yang berbatasan dengan air, uap atau udara).

Perpindahan panas secara konduksi dapat dinyatakan dengan rumus :

$$q = - k. A \left(\frac{dt}{dx} \right) \quad (\text{J.P. Holman, 1994 hal 2})$$

Dimana:

q = Laju perpindahan panas konduksi (kJ/s)

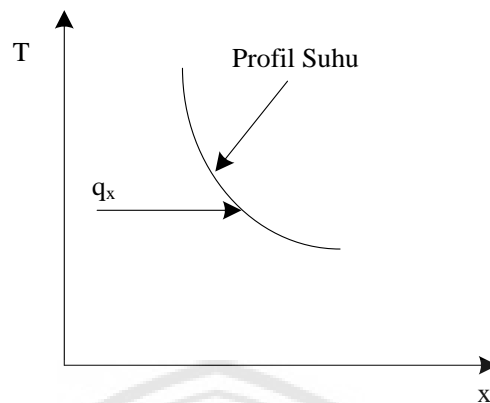
K = Konduktivitas thermal (kJ/s m°C)

A = Luas permukaan (m²)

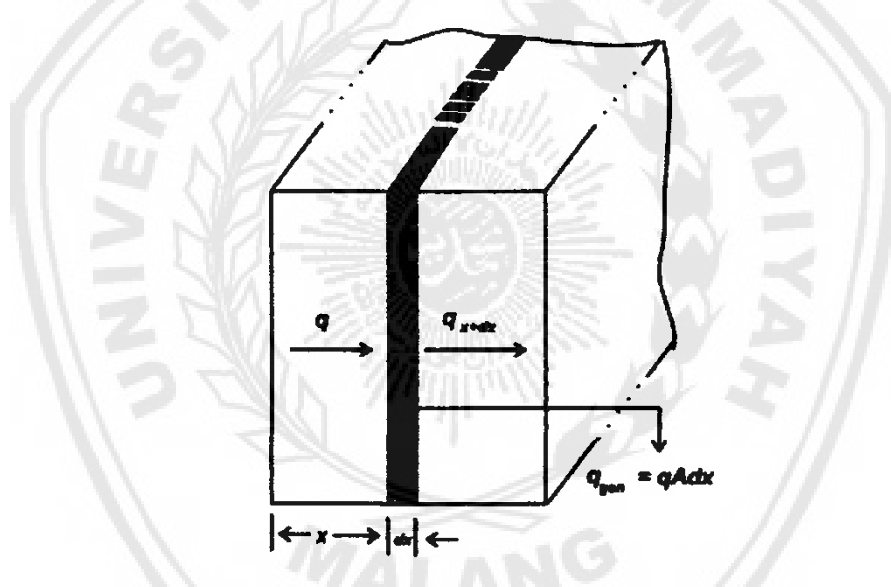
dT = Gradien suhu ke arah perpindahan panas (°C/m)

dx = Ketebalan (m²)

Tanda minus diselipkan agar memenuhi Hukum Kedua Termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam Skala suhu. Berdasarkan persamaan di atas dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.5 Bagian yang menunjukkan arah aliran kalor (J.P. Holman, 1994 hal 2)



Gambar 2.6 Konduksi kalor satu dimensi (J.P. Holman, 1994 hal 3)

b. Perpindahan Panas Secara Konveksi

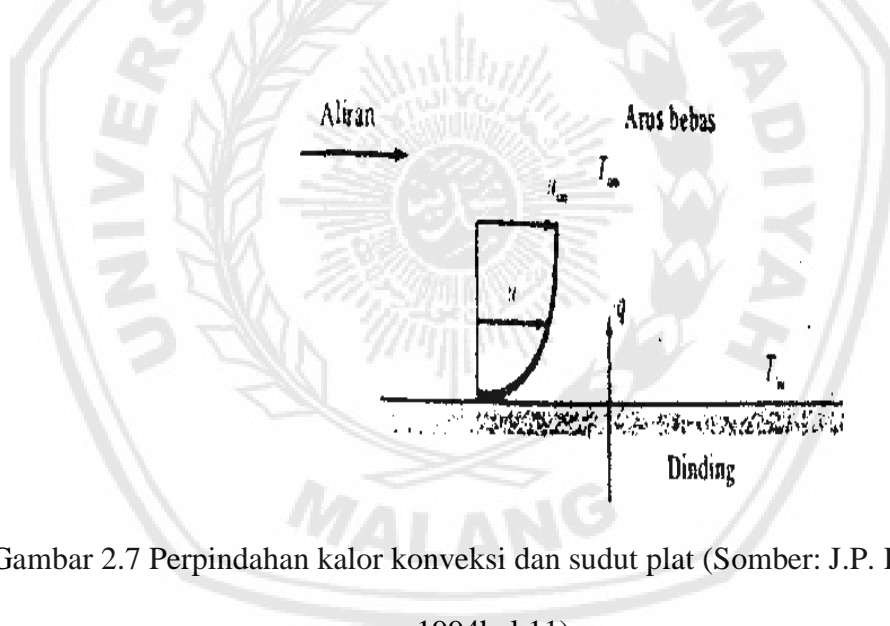
Perpindahan panas Secara konveksi adalah perpindahan panas karena, terjadinya perpindahan zat. Peristiwa konveksi atau aliran zat terjadi pada perubahan suhu suatu zat. Contohnya adalah air yang sedang direbus. Zat cair dan gas yang terkena panas maka molekul-molekulnya, bertambah besar dan beratnya tetap, sehingga, akan bergerak ke atas. Gerakan ke atas ini akan diikufi oleh

gerakan zat lain secara, terus menerus sehingga, terjadi aliran zat karena, panas.

Dari peristiwa aliran inilah, maka panas dapat merambat secara. konveksi.

Perpindahan panas secara konveksi berlangsung beberapa tahap antara. lain:

- Panas akan mengalir dengan cara konduksi dan permukaan partikel -partikel fluida yang berbatasan energi yang berpindah dengan cara demikian akan menunjukkan suhu dan fluida, dalam partikel fluida.
- Partikel-partikel fluida tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam fluida dimana akan bercampur dan memindahkan sebagian energinya kepada partikel-partikel fluida lainnya.



Gambar 2.7 Perpindahan kalor konveksi dan sudut plat (Sumber: J.P. Holman, 1994hal 11)

Perpindahan panas secara konveksi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu:

1. Konveksi paksa :Konveksi paksa terjadi bila perpindahan *panas* disebabkan oleh gaya eksternal atau disebabkan oleh energi mekanik.
2. Konveksi bebas : Konveksi bebas terjadi bila perpindahan panas disebabkan oleh adanya gaya apung akibat perbedaan densitas (kerapatan masse jenis)

karena beda temperatur pada fluida Dalam perpindahan panas secara konveksi berlaku hukum Newton mengenai pendinginan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty) \quad (J.P. Holman, 1994 \text{ hal } 11)$$

Dimana:

q = Laju panas konveksi (kg/jam)

h = Koefisien perpindahan panas.(w/m² °K)

T_w =Tempemtur dinding (°K)

T = Temperatur fluida (°K)

Maka koefisien perpindahan panas menyeluruh adalah :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{D_i \ln(D_o / D_i)}{k} + \frac{1}{h_o}} \quad (J.P. Holman, 1994 \text{ hal } 34)$$

Dimana :

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (w/m²)

h_1 = Koefisien perpindahan panas konveksi dalam pipa, (w/m⁰K)

h_o = Koefisien perpindahan panas konveksi luar pipa. (w/m⁰K)

D_1 = Diameter dalam pipa. (m)

D_0 = Diameter luar pipa. (m)

K = Konduktivitas thermal (j/s m⁰c)

c. Perpindahan Panas Secara Radiasi

Radiasi adalah perpindahan panas tanpa, zat perantara. Contoh paling mudah dari perpindahan panas secara radiasi adalah pancaran sinar matahari. Matahari memancarkan panasnya sehingga sampai ke permukaan bumi melalui

ruang hampa. Di ruang hampa, tidak ada zat yang dapat dilalui dan juga tidak ada zat yang dapat mengalir. Panas matahari tersebut sampai ke bumi secara langsung atau secara pancaran tanpa melalui zat perantara.

Semua benda di alam memancarkan radiasi akibat adanya temperatur benda tersebut. Radiasi yang dipancarkan sebagai akibat adanya temperatur benda tersebut disebut radiasi termal. Jika dua benda saling bertukar panas dengan cara radiasi, maka panas yang dipancarkan dan permukaannya dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A (T_1^4 - T_2^4) \quad (\text{J.P. Holman, 1994 hal 14})$$

Dimana:

ε = Emisivitas,

σ = Konstanta, Stefan Boltmm ($= 5,66 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{°C}$)

A = Luas permukaan (m^2)

T_1 = Temperatur benda, pertama, ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = Temperatur benda, kedua, ($^{\circ}\text{C}$)

2.8 Perhitungan kekuatan dinding

Perhitungan kekuatan dinding bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari konstruksi akibat dari tekanan suhu yang ada pada proses destilasi. Aliran tekanan dalam konstruksi yang menunjukkan aktifitas tekanan yang harus ditahan oleh konstruksi.

Perhitungan maka perlu diketahui terlebih dahulu tekanan yang terjadi atau tekanan pada tabung ketel. Tekanan didalam tabung = tekanan

akibat suhu (ir. M.J djokosetyardjo, 2003), dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

Tekanan akibat suhu:

$$PV = m \cdot R \cdot T \quad (\text{Riyanto, Ssi, 2010})$$

$$P = \frac{m}{V} \cdot R \cdot T$$

$$P = \rho \cdot R \cdot T \quad (\text{Holman J.P, 1994})$$

Dimana:

$$P = \text{Tekanan didalam tabung (kg/cm}^2\text{)}$$

$$T = \text{Suhu tabung (}^{\circ}\text{K)}$$

$$R = \text{Konstanta gas} = 29,27 \text{ kg.m/kg.}^{\circ}\text{K}$$

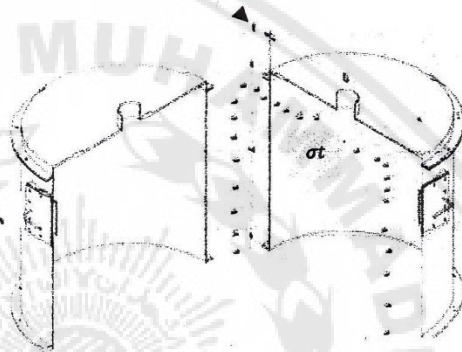
$$\rho = \text{Kerapatan massa gas} = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

1. Untuk mengetahui kekuatan pada kontruksi apakah aman terhadap tekanan suhu pada tabung tersebut. Material tungku, badan oven luar dan badan ove dalam menggunakan baja SC 37 scadule 40 (standart) yang memiliki tegangan tarik ijin 3700 kg/mm^2 (Sularso, 2991) pemilihan Baja SC 37 karena mudah menghantarkan panas (Heri, 2009) dan lebih tahan terhadap korosi. Dalam bejana tertutup seperti pada tungku badan oven luar dan badan oven dalam terjadi kemungkinan putus dan kemungkinan belah

dapat diperhitungkan dengan mengetahui kekuatan belah dan kekuatan pecah adalah sebagai berikut:

A. Kekuatan belah

Untuk memeriksa tabung agar tidak belah dicari dengan persamaan:



Gambar 2.8 Kekuatan belah

$$t_b = \frac{P \times D}{2 \sigma t \left(1 + \frac{D}{L}\right)} \quad (\text{ir. M.J djokosetyardjo, 2003})$$

Dimana:

P = Tekanan akibat suhu (kg/cm²)

D = Diameter dalam (cm)

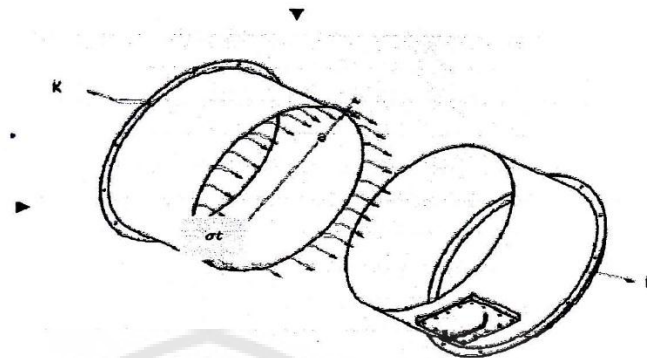
σt = Tegangan tarik yang diijinkan (kg/m²)

L = Panjang bahan (cm)

Syarat tebal pelat yang aman $t \geq t_b$

B. Kekuatan pecah

Untuk memeriksa tabung agar tidak putus dicari dengan persamaan:



Gambar 2.9 Kekuatan putus

$$t_p = \frac{P \times D}{4 \sigma_t} \quad (\text{ir. M.J djokosetyardjo, 2003})$$

Dimana:

P = Tekanan akibat suhu ($^{\circ}\text{K}$)

D = Diameter dalam (cm)

σ_t = Tegangan tarik yang diijinkan (kg/m^2)

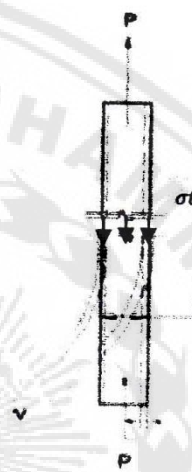
Syarat tebal pelat yang aman $t \geq t_b$

2. Untuk pipa api dan pipa saluran uap ini berbeda karena pipa ini bukan bejana tertutup, jadi uap dapat keluar dengan leluasa tanpa ada tekanan yang berkembang didalam pipa tersebut. Material pipa api menggunakan pipa baja SC 37 scadule 40 (standart) yang memiliki tegangan tarik ijin $45,89 \text{ kg}/\text{mm}^2$ (Ir. Jack Stolk, 1986) pemilihan Baja SC 37 karena mudah menghantarkan panas dan lebih tahan terhadap korosi. Sedangkan material pipa saluran uap menggunakan pipa tembaga ACR (Air Condensat Recirculation) type A, pemilihan pipa tembaga ACR (Air Condensat Recirculation) type A karena mudah menghantarkan panas (Heri, 2009) dan mudah untuk dibentuk dengan tegangan tarik ijin $22,498 \text{ kg}/\text{mm}^2$

(Madison Avenue, 2010). Kekuatan pipa dapat diketahui menggunakan persamaan:

A. Kekuatan Pipa

Untuk memeriksa pipa agar aman dicari dengan persamaan:



Gambar 2.10 Kekuatan belah pada pipa api

$$t = \frac{D_o \times P}{(2 \cdot j \cdot v \cdot \sigma \cdot k) + P} \quad (\text{ir. M.J djokosetyardjo, 2003})$$

Dimana:

D_o = Diameter luar pipa

j = Faktor konversi, menjadi:

$j = 100$ bila P dan σ dinyatakan dalam kg/mm^2

$j = 1$ bila P dan σ dinyatakan dalam N/m^2

v = Faktor pelemahan = 0,9 untuk diameter pipa $\leq 0,20$ m

k = Faktor keamanan untuk baja = 2,0 untuk baja tuang = 1,5

σ_t = Tegangan tarik yang diijinkan (kg/m^2)

P = Tekanan akibat suhu ($^{\circ}\text{K}$)

Syarat tebal pelat yang aman $t \geq t_b$

2.9 Jenis- Jenis Kondensor

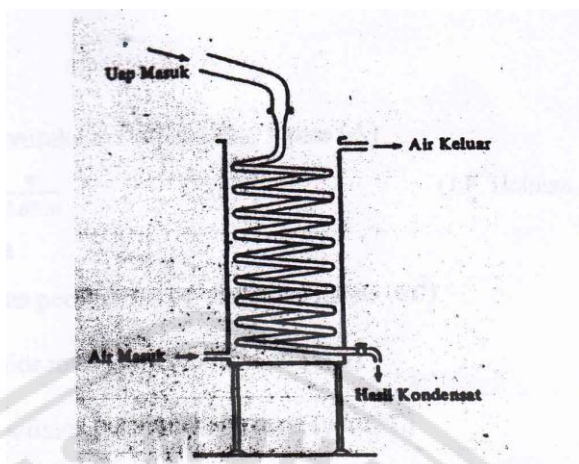
Untuk mencairkan uap air yang bertekanan dan bertemperatur tinggi (yang keluar dari tabung pemanas) diperlukan usaha melepaskan kalor sebanyak kalor laten pengembunan, dengan cara mendinginkan uap air yang disebut kondensor. Kondensor gunanya untuk membuang kalor dan mengubah wujud uap etanol menjadi cair. Uap etanol menyerap panas pada air pendingin didalam kondensor. Sehingga mengembun menjadi cairan jenuh kemudian dialirkan ke pipa melalui katup pengatur. Kondensor dapat dibagi menjadi tiga macam yang tergantung dan zat yang mendinginkannya, yaitu:

1. Kondensor dengan pendingin udara.
2. Kondensor dengan pendingin air.
3. Kondensor dengan pendingin campuran udara dan air.

Kondensor merupakan media yang digunakan sebagai tempat untuk mendinginkan uap air yang dihasilkan, pada tahap kondensasi atau pengembunan pipa penyalur uap akan didinginkan oleh air yang tertampung di kondensor (Armando 2009 hal 16). Kondensor merupakan salah satu perlengkapan penyulingan. Tipe kondensor sederhana antara lain:

1. Kondensor yang paling umum digunakan adalah kondensor terpilin dengan prinsip kerja Arah aliran air pendingin berlawanan dengan arah UAP. Umumnya penggunaan air lebih efektif, dengan menyisipkan dua pipa yang

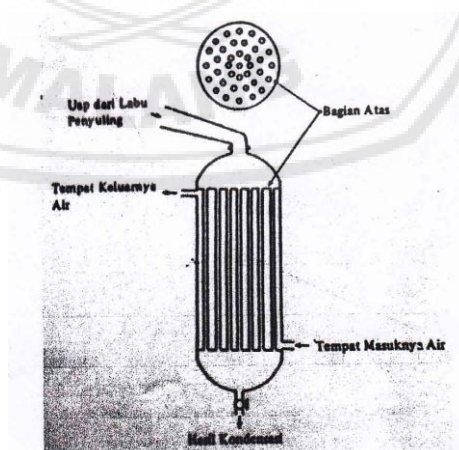
terpilin pada tiap tangka kondensor. (Guenther, 2011 hal 160)



Gambar 2.11 Kondensor Terpilin (Coil Condensor)

(Guenther, 2011 Hal 160)

2. Kondensor turbular merupakan tabung kondensor disusun dalam kotak vertical. Sedangkan jumlah dan ukuran panjangnya tergantung dari jumlah uap yang dikondensasikan, dan dibuat sedemikian rupa sehingga uap yang dikondensasikan masuk kedalam tabung dan air pendingin bersirkulasi di sekeliling tabung tersebut. (Guenther, 2011 hal 161)



Gambar 2.12 Kondensor Tubular

(Guenther, 2011 Hal 161)

Konsep perpindahan panas kondensor diharapkan keluar dalam bentuk etanol cair dengan temperature 28°C dari temperature masuk 78°C . Maka dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Luas Permukaan Perpindahan Panas (A)

$$A = \frac{q}{U\Delta Tm} \quad (\text{J.P. Holman, 1994 hal 490})$$

Dimana :

A = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

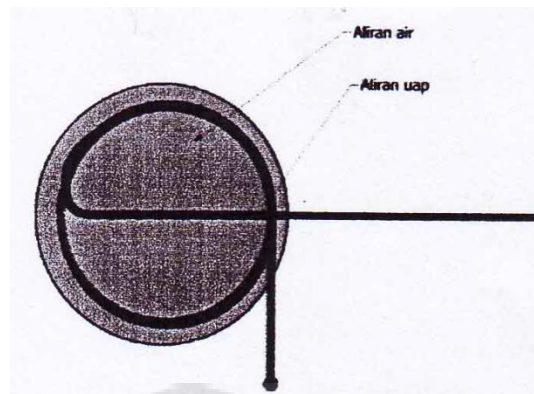
q = Kalor total yang dibutuhkan (kJ/s)

U = Koefisien perpindahan panas ($\text{W}/m^2^{\circ}\text{C}$)

ΔTm = Beda temperature rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

2.10 Perpindahan panas pada kondensor

Laju aliran adalah untuk menentukan proporsi dan jumlah fluida yang mengalir masuk dan keluar proses. Dengan kata lain, pengukuran laju aliran menunjukkan berapa banyak fluida yang digunakan atau didistribusikan ke dalam proses (Anditania, dkk, 2011). Aliran pada kondensor ada 2 macam yaitu aliran diluar pipa dan aliran dalam pipa. Aliran diluar pipa berupa air dan aliran didalam pipa berupa gas atau uap etanol yang akan dikondensasi dapat dilihat pada gambar 3.8 Ilustrasi kondisi kondensor.



Gambar 2.13: Ilustrasi kondensasi uap etanol menjadi etanol air

- Untuk mengetahui laju aliran uap dalam pipa kondensor perlu mengetahui bahan pipa. Material pipa kondensor menggunakan tembaga tipe K ukuran 3 inci dan untuk mengetahui laju aliran fluida air sebagai media pendingin sehingga uap etanol menjadi etanol cair, maka dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut:
- a. Didalam pipa kondensor mengalir fluida kerja berupa uap, yang mempunyai sifat-sifat dengan persamaan:

$$T_w = \frac{T_{um} + T_{uk}}{2} \quad (\text{J.P.Holman, 1994})$$

Dimana:

T_w = Temperatur rata-rata (°C)

T_{um} = Temperatur uap masuk (°C)

T_{uk} = Temperatur uap keluar (°C)

- b. Luas aliran dalam pipa (A_a) adalah luas dari pada pipa kondensor dengan persamaan:

$$A_a = \frac{\pi}{4} d_i^2 \quad (\text{J.P.Holman, 1994})$$

- c. Untuk mengetahui kecepatan uap yang mengalir dalam pipa kondensor dengan persamaan:

$$u = \frac{m_{uap}}{\rho \times A} \quad (\text{J.P.Holman, 1994})$$

Dimana:

u = Kecepatan (kg/s)

ρ = Densitas (kg/m³)

m_{uap} = Massa uap (m/s)

A = Luas penampang (m²)

- d. Menentukan harga reynold number (Re) dengan persamaan:

$$Re = \frac{\rho \cdot u \cdot D_i}{\mu} \quad (\text{J.P.Holman, 1994})$$

Dimana:

Re = Bilangan reynold

ρ = Densitas (kg/m³)

u = Kecepatan (kg/s)

μ = Viskositas dinamik

D_i = Diameter dalam pipa atau oven (m)

Dari harga bilangan reynold diketahui bahwa aliran uap dalam pipa adalah aliran laminar atau turbulen, maka angka nusselt dapat dihitung dengan persamaan:

- e. Menentukan harga nusselt

$$Nu = (1,86) \cdot \left[\frac{(Re) \cdot (Pr_{uap}) \cdot (d_i)}{3} \right]^{1/3} \quad (\text{J.P.Holman, 1994})$$

Dimana:

Nu = Angka nusselt

Re = Bilangan reynold

Pr = Angka prandtl

D_i = Diameter dalam pipa atau oven (m)

- f. Menentukan perpindahan panas konveksi didalam pipa kondensor

Proses perpindahan panas secara konveksi dalam perancangan ini molekul-molekul etanol akan bertambah besar dan beratnya tetap, sehingga akan bergerak ke atas. Gerakan ke atas ini akan diikuti oleh gerakan uap etanol lainnya secara terus menerus sehingga terjadi aliran uap etanol karena panas. Dari persamaan-persamaan diatas, maka harga konveksi didalam pipa dapat dihitung dengan persamaan:

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D} \quad (\text{J.P.Holman, 1994 hal 261})$$

Dimana:

D = Diameter dalam pipa atau oven (m)

K = konduktivitas termal ($W/m^2\text{°K}$)

Nu = Bilangan nusselt

Menurut pertimbangan untuk mengetahui aliran tersebut turbulen atau laminar adalah untuk $Re > 2300$ aliran tersebut biasanya disebut turbulen (Koestoer, 2002)

- g. Menentukan koefisien perpindahan panas keseluruhan

Koefisien perpindahan panas keseluruhan pada kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{D_i \ln(D_o/D_i)}{k} + \frac{D_i}{h_o}} \quad (\text{J.P.Holman, 1994 hal 34})$$

Dimana:

K = konduktivitas pipa tembaga ($j/\text{sec m } ^\circ\text{C}$) (Koestoer, 2002)

- h. Menentukan kondisi aliran lawan arah pada kondensor

Perpindahan panas kondensor diharapkan etanol keluar dengan temperature 30°C dari temperatur uap etanol masuk $78,36^\circ\text{C}$. Sedangkan untuk aliran diluar pipa berupa air dengan temperatur air masuk 25°C dan keluar 55°C .

Beda temperatur rata-rata untuk penukaran kalor aliran counter flow dapat dihitung dengan persamaan:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{um} - T_{ak}) - (T_{uk} - T_{am})}{\ln \frac{(T_{um} - T_{ak})}{(T_{uk} - T_{am})}} \quad (\text{J.P.Holman, 1994 hal 491})$$

Dimana:

T_{um} = Temperatur uap masuk (°C)

T_{uk} = Temperatur uap keluar (°C)

T_{am} = Temperatur air masuk (°C)

T_{ak} = Temperatur air masuk (°C)

i. Menentukan panjang pipa kondensor

Pipa kondensor berfungsi sebagai penghubung antara pipa saluran uap dengan alat penampung dan memisahkan cairan destilasi.

Pipa kondensor terbuat dari bahan tembaga karena jenis bahan ini mudah untuk dibentuk dan merupakan jenis logam yang mudah menghantarkan panas.

- Untuk menentukan panjang pipa kondensor yang akan dilalui uap perlu bahan pipa tembaga tipe K ukuran 3 inchi, maka dapat dihitung dengan persamaan:

j. Untuk menentukan luas permukaan perpindahan panas (A) dengan persamaan:

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T_m} \quad (\text{J.P.Holman, 1994 hal 490})$$

Dimana :

Q = Laju perpindahan kalor persatuan waktu (kj/s)

A = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

U = Koefisien perpindahan panas keseluruhan ($W/m^2°C$)

ΔT_m = Temperatur rata-rata ($°C$)

k. Untuk menentukan panjang pipa kondensor dengan persamaan:

$$L = \pi \cdot D \cdot jN \quad (\text{Ir.Herry supriyanto, MT})$$

Dimana :

D = Diameter kondensor (m)

N = Jumlah lilitan

jN = Jarak putaran lilitan

L = Panjang pipa (m)

i. Untuk menentukan jumlah lilitan pipa spiral dengan persamaan:

$$N = \frac{A}{2\pi \cdot (D_o \times D_i)} \quad (\text{Ir.Herry supriyanto, MT})$$

Dimana:

N = jumlah

A = Luas permukaan (m^2)

D_o = Diameter luar (m)

D_i = Diameter dalam (m)

Menurut pertimbangan pipa kondensor diatas karena pipa jenis tembaga sangat baik sebagai pipa kondensor karena mudah menghantarkan panas dan mudah untuk dibentuk tujuannya dari pipa berbentuk spiral adalah untuk memprluas permukaan sehingga uap akan lebih lama didalam kondensor untuk proses pendinginan dan keluar dengan temperatur yang direncanakan.

